

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09127677 A**(43) Date of publication of application: **16 . 05 . 97**

(51) Int. Cl.

G03F 1/08
H01L 21/027
(21) Application number: **07308358**(22) Date of filing: **31 . 10 . 95**(71) Applicant: **NEC CORP**
 (72) Inventor: **ISHIDA SHINJI**
YASUSATO TADAO

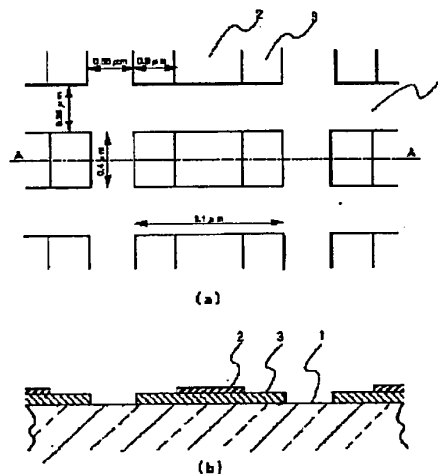
(54) PHOTOMASK AND ITS PRODUCTION

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain desired mask patterns by partially using the effect of a phase shift mask.

SOLUTION: The mask patterns are formed of light shielding films 2 and translucent films 3 on a transparent substrate 1. The light shielding films 2 are composed by substituting the ends among the pattern shapes of the intrinsic mask with the translucent films 3. The translucent films 3 have transmittance of about 4 to 15% and give rise to a phase difference of about 180° between the light transmitted therethrough and the light not transmitted therethrough. As a result, the light intensity at the edges of the translucent films 3 is steepened and the degeneracy of the patterns transferred to a photoresist is prevented. Since the light shielding films 2 are partly substd. with the translucent films, the design and production thereof are easy.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO



(19)日本国特許庁 (JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-127677

(43)公開日 平成9年(1997)5月16日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G03F 1/08

G03F 1/08

A

H01L 21/027

H01L 21/30

502

P

528

審査請求 有 請求項の数 5 F D (全13頁)

(21)出願番号 特願平7-308358
(22)出願日 平成7年(1995)10月31日

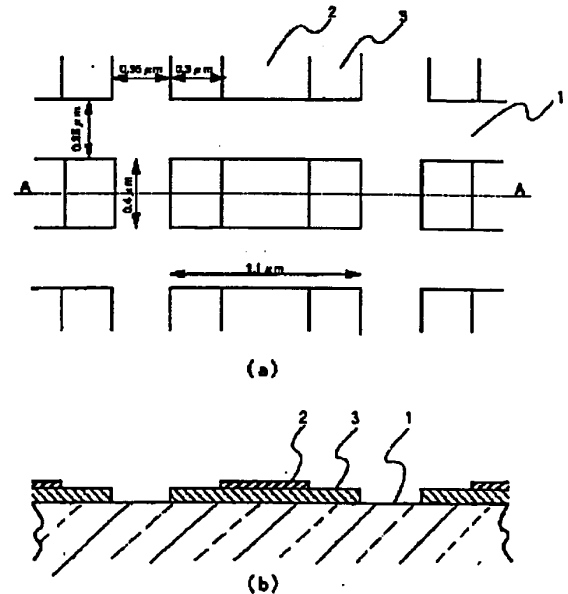
(71)出願人 000004237
日本電気株式会社
東京都港区芝五丁目7番1号
(72)発明者 石田 伸二
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社社内
(72)発明者 安里 直生
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社社内
(74)代理人 弁理士 鈴木 章夫

(54)【発明の名称】フォトマスク及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】 フォトマスクの近接効果による転写パターンの縮退を防止するために、位相シフトマスクを構成すると、マスクパターンの設計が困難になり、かつその製造が困難なものとなる。

【解決手段】 透明基板1上に遮光膜2と半透明膜3とでマスクパターンが形成される。遮光膜2は本来のマスクのパターン形状のうち、端部が半透明膜3で置き換えられた構成とされる。半透明膜3は4～15%程度の透過率を有し、かつこれを透過する光と透過しない光との間に180度の位相差を生じさせる。これにより、半透明膜3のエッジ部での光強度を急峻なものにでき、フォトレジストに転写されるパターンの縮退を防止する。遮光膜2の一部を半透明膜3に置き換えるため、設計、製造が容易なものとなる。



1: 透明基板
2: 遮光膜
3: 半透明膜

【特許請求の範囲】

【請求項1】 透明基板上に所要のパターン形状の遮光膜が形成されたフォトマスクにおいて、前記遮光膜の一部が半透明膜で形成され、かつこの半透明膜は、半透明膜を透過する光としない光に180度の位相差を生じさせるように構成されたことを特徴とするフォトマスク。

【請求項2】 遮光膜の凸状に形成された先端部が半透明膜で形成されてなる請求項1のフォトマスク。

【請求項3】 透明基板上に所要のパターンに半透明膜が形成され、この半透明膜の凸状の先端部を除く領域に遮光膜が積層形成される請求項2のフォトマスク。

【請求項4】 半透明膜の膜厚 t が $t = \lambda / 2 (n - 1)$ 、ただし λ はパターン転写用光の波長、 n は半透明膜の屈折率、である請求項1ないし3のいずれかのフォトマスク。

【請求項5】 形成しようとするフォトマスクの遮光膜パターンを微小範囲に分割してその中点を選択する工程と、2次元光強度分布を用いて選択された中点のうち最も光強度が低くなる点とその光強度値を求める工程と、この求められた光強度を用いて前記2次元光強度分布をスライスしてそのスライス形状を求める工程と、求められたスライス形状と前記形成しようとするフォトマスクのパターンとを比較して一定の値以上に寸法が小さい辺部を求める工程と、この辺においてその端部から一定範囲を前記遮光膜に代えて半透明膜として構成する工程とを含むことを特徴とするフォトマスクの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は投影露光装置用のフォトマスク、特に半導体製造工程で微細パターン形成のために用いられるフォトマスクと、このフォトマスクを設計するための製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 現在、半導体素子の製造工程においては、半導体基板上にパターンを形成するための方法として、主に光リソグラフィ技術を用いている。光リソグラフィ技術では、露光装置によりフォトマスク（透明領域と遮光領域からなるパターンが形成された露光用原板であり、縮小率が1:1でない場合は特にレチクルと呼ばれるがここではいずれもフォトマスクと呼ぶ）のパターンをフォトレジスト（感光性樹脂）の塗布された半導体基板上に転写し、現像によりフォトレジストの所定のパターンを形成する。このフォトレジストのパターンは、リソグラフィの次の工程であるエッチングあるいは不純物導入（イオン注入）におけるマスクとなる。

【0003】 これまでの光リソグラフィ技術においては、主に露光装置の開発、とりわけ投影レンズ系の高NA化により半導体素子パターンの微細化へ対応してきた。ここで、NA（開口数）とはレンズがどれだけ広がった光を集められるかに対応し、この値が大きいほどよ

り広がった光を集められ、レンズの性能は良いことになる。また、一般にレーリ（Rayleigh）の式としてよく知られているように、限界解像度 R （解像できる限度の微細パターンの寸法）とNAとの間には、

$$R = K_1 \times \lambda / NA$$

K_1 はフォトレジストの性能等のプロセスに依存する定数

の関係があり、NAを大きくするほど限界解像度はより微細になってきていた。

【0004】 しかし、露光装置の高NA化により解像力は向上するものの、逆に焦点深度は減少し、この点で更なる微細化が困難になってきた。ここでも実際の物理的説明は省くが、先と同様レーリの式として、焦点深度 DOF とNAとの間には、

$$DOF = K_2 \times \lambda / NA^2$$

K_2 はプロセスに依存する定数

の関係が成り立つことが知られている。すなわち、NAを大きくする程焦点深度は狭くなり、わずかな焦点位置のずれも許容できなくなる。

【0005】 そこで、様々な超解像手法が検討されるようになってきた。一般に、超解像手法とは、照明光学系、フォトマスク、および投影レンズ系瞳面における光の透過率および位相を制御することにより結像面での光強度分布を改善する手法である。また、各種超解像手法のなかでも、照明光学系の最適化による解像特性の向上、いわゆる変形照明法は実現性が高く近年特に注目を集めている。この変形照明法について説明する前に、まず通常の露光装置（一般にはステッパと呼ばれる）の照明光学系に関して簡単に説明しておく。半導体素子形成のためのリソグラフィ工程においては、パターン寸法の半導体基板の露光領域全面において形成されるパターン寸法を制御するためには、フォトマスク上の露光領域全面が均一な強度で照明される必要がある。そのため、光源である水銀ランプからでた光をコールドミラーおよび干渉フィルター等を通して単一波長とした後に、照明均一性を得るための光学素子であるフライアイレンズに導いている。フライアイレンズは、同型の単体レンズを複数並列に束ねた光学素子であり、フライアイレンズの各単体レンズがそれぞれ焦点を結び独立した点光源を形成し、この点光源群でフォトマスクを照明することによりフォトマスク上の照明均一性を向上させている。この点光源群は、水銀ランプを1次光源と呼ぶのに対して、2次光源と呼ばれることもある。また、このようにフライアイレンズを通して照明すると、おおむねの光源である水銀ランプでの発行状態はフォトマスクの照明状態には関係がなくなる。

【0006】 このフライアイレンズで形成される点光源の形状および強度分布のみが実質的にフォトマスクの照明状態を決定し、露光特性に影響を及ぼしている。よって、この点光源群は有効光源とも呼ばれる。そこで、こ

の有効光源の形状を制御し解像特性を改善することが提案された。これが一般に変形照明法と呼ばれる手法である。この有効光源の形状を変化させる手段としては、通常、フライアイレンズの直後に様々な形状の絞りあるいはフィルタを配置している。なお、この手法は有効光源の形状（絞りの形状）により区別され、たとえば、絞りの中央部を遮光して、リング型の照明光源を用いる照明法は輪帯照明法と呼ばれている。

【0007】この変形照明法の効果について簡単に説明する。図8と図9に通常照明と輪帯照明の照明状態を比較して示す。通常の照明方法では、図8(a)に示すような円形開口の絞り101Aが用いられ、このとき同図(b)に示すようにフライアイレンズ102からの光が絞り101Aにより絞られてフォトマスク103を照明し、投影レンズ104により半導体基板105に投影されるが、フォトマスク103にはほぼ垂直に入射する光が存在する。フォトマスク102のパターンを解像するためには、最低でもその回折光のうち、0次光と+1次光あるいは-1次光を集めることが必要であるが、パターンが微細になると回折角が大きくなり投影レンズ系103に入らなくなる。そのため、微細パターンにおいては、垂直に入射する光は解像には寄与しないノイズ成分となり、像面での光強度分布のコントラストを低下させてしまう。しかし、図9(a)に示すようなリング形の開口部を有する絞り101Bを用いると、同図(b)のようにフォトマスク103に斜めからのみ光が入射し、その分、+1あるいは-1次回折光のいずれかが投影レンズ系104に入るようになり、照明光の大部分がパターンを解像させるのに役立つようになる。このように照明光のうち解像に寄与しない垂直入射成分を除去することにより解像度および焦点深度を向上させることができる。

【0008】また、上記変形照明法の他にも、フォトマスク側の改善による超解像手法である位相シフトマスクの検討も盛んに行われている。位相シフトマスクとしては、渋谷-レベンソン(Levenson)方式と呼ばれる周期的なパターンにおいて透明領域を透過する光の位相を交互に180度変える方式が初めに提案された。しかし、この方式では隣接した透明領域の位相をすべて異ならせることが必要であり、例えばパターンを2色で同じ色が近くにこないように色分けする必要がある。これは、複雑な半導体素子のパターンでは、マスクの設計が非常に困難となっていた。また、孤立したパターンには適用できないという問題もあった。そのため、その後補助パターン、リム、あるいはハーフトーン方式等の他の方式が提案されてきた。

【0009】次に、これらの適用するパターンに制限の少ない位相シフトマスクの各方式について簡単に説明する。比較のため、図10に通常フォトマスクを示す。通常マスクでは同図(a)の平面図と、同図(b)の

BB線断面図に示すように、石英等の透明基板1上に70~100nm厚のクロム(Cr)および酸化クロム(CrO)の遮光膜2が成膜され、選択的に遮光膜2を除去し、開口部201が形成されている。そして、同図(c)に示すように、マスクを透過する光の振幅は開口部201(透明部)で一定値、それ以外の部分(遮光部)で零となる。一般に、光学系を通した結像はフーリエ変換で説明されるが、透過照明により照明されフーリエ変換されたマスクパターンは、投影レンズ系でフーリエ逆変換され結像面上に再び元のマスクパターンが形成される。しかしこのとき、投影レンズ系はローパスフィルタとして働くので、フーリエ変換の高次の成分はなくなる。よって、マスク透過直後は矩形性を有する光の振幅も、結像面ではその矩形性を失い、振幅の2乗で与えられる光強度の分布も同図(d)に示すような分布となる。

【0010】まず、補助パターン方式位相シフトについて図面を用いて説明する。この方式は半導体基板上に転写するメインパターンの近傍に解像しない微細パターンを設け、さらにメインパターンと微細パターンを透過する光に180度の位相差を生じさせる方式である。そして、位相の異なる光同士の干渉によりメインパターンの近傍に暗部を形成し、メインパターンの光強度分布を改善する。この解像しない微細パターンは、位相シフトマスクに限らず一般に、補助パターンと呼ばれる。

【0011】図11に、この補助パターン方式の位相シフトマスクを示す。同図(a)は平面図であり、同図(b)はそのCC線の断面図である。また、ここでマスクパターンは孤立スペースとした。同図に示すように、石英等の透明基板1上に、クロム等の遮光膜2が成膜されている。そして、メインパターンとして限界解像度以上の寸法の第1の開口201が形成され、その左右に補助パターンとして限界解像度以下の寸法の第2の開口202が形成されている。また、第2の開口202上には、SiO₂等の透明膜4が部分的に形成されている。光の波長λは伝場する物質中ではλ/n(nは物質の屈折率)となるので、空気中(n=1)と透明膜を透過する光には位相差が生じ、透明膜4の膜厚tを、 $t = \lambda / 2 (n_1 - 1)$

λは露光光の波長、n₁は透明膜4の屈折率とすることにより、その位相差を180度とすることができる。

【0012】なお、この位相差を生じさせる透明膜は、位相シフターあるいは単にシフターと呼ばれる。よって、マスク透過直後の光の振幅分布は同図(c)に示すようにメインパターンの左右に正負が反転した微細な部分が追加された分布となる。そして、結像面(半導体基板上)での振幅分布は、通常マスクと同様に、波形の高周波成分はなくなるものの、メインパターンと補助パターンの間で振幅がゼロの部分ができ、従来よりメインパ

ターンの振幅分布が急峻となる。そして、この振幅の2乗で与えられる強度分布も、同図(d)に示すように良好な形状となり、解像度および焦点深度を向上することができる。

【0013】次に、リム方式の位相シフトマスク、例えば、特開平1-1913471号公報に記載のシフトマスクについて説明する。リム方式は遮光領域の外周の微小な範囲の透過光の位相を180度異ならせることにより、位相が180度異なった同士の干渉により遮光領域の境界での光強度分布をより急峻にする方式である。図12にリム方式の位相シフトマスクを示す。同図(a)は平面図であり、同図(b)はそのDD線の断面図である。また、ここではマスクパターンは孤立ラインとした。同図に示すように、石英等の透明基板1上に、クロム等の遮光膜2により開口201が形成されている。さらにその上には透明膜4(シフト)が形成され、開口201の境界部の光の位相を反転させている。このように遮光領域の境界に沿って一定の幅で形成されたシフトはリムと呼ばれている。そして、このマスクの透過光の振幅分布は同図(c)に示すように、メインパターン周辺に逆方向の波形が付加された形状になる。そして、同図(d)に示すように、結像面上での光強度分布の傾きを大きくすることができる。

【0014】位相シフトマスクの説明の最後に、例えば特開平4-136854号公報に記載されているようなハーフトーン方式(減衰方式)について説明する。この方式は本来遮光領域となっていた部分にわずかに透過性を持たせて光を一部漏洩させ、その漏れた光の位相を180度反転させることによりパターン境界部での光強度分布を改善する手法である。図13にハーフトーン方式の位相シフトマスクを示す。同図(a)の平面図および同図(b)のEE線断面図に示すように、透明基板1上に酸化窒化クロム等の半透明膜3により、透明領域と半透明領域からなるパターンを有している。この半透明膜3の透過率は一般に3~15%程度とし、また、透明領域と半透明領域を透過する光の位相は180度反転するようにしている。ここでも半透明膜3の膜厚 t_1 を、 $t_1 = \lambda / 2 (n_1 - 1)$

と設定している。ここに、 n_1 は半透明膜3の屈折率。

【0015】そして、同図(c)に示すように、漏光の位相を制御することにより、半透明膜3のエッジ部での位相の異なった光同士の打ち消し合い、同図(d)に示すようにハインパターンの光強度分布を改善することができる。ただし、このハーフトーン方式のマスクには、マスク全面で光が漏れているため、このフォトマスクを用いて半導体基板上に露光を行った場合、隣接する露光領域の境界部では複数回のこの漏れた光が重なるため、パターンの異常(感光性樹脂の膜べり)生じる問題が指摘されている。そこで、特開平6-282063号公報に示されているように、露光領域周辺部の半透明領

域上に遮光膜により遮光領域の枠(以下これを遮光帯と呼ぶ)を形成する手法が提案されており、これにより露光領域境界部の膜べりを防止している。

【0016】さらに、前述の変形照明法とこのハーフトーンマスクの組み合わせも検討されている。これは、従来照明法では0次光および±1次光によりパターンを解像していたのに対して、変形照明では0次光と+1あるいは一次光のいずれか一つでパターンを解像しているため、従来に比べパターンのコントラストが低下してしまうためである。ただし、焦点位置を変化させたときのコントラスト低下は変形照明の方が少なく焦点深度は広がる。そこで、ハーフトーンマスクを用いて、0次光を低下させる。すなわち、0次光は平均の強度なので逆位相の光を漏らすと低下する。このようにして、0次と1次回折光の強度を適当に合わせると像のコントラストを改善することができ、より広い焦点深度が得られる。

【0017】なお、超解像手法のうち、投影レンズの瞳面に透過率および位相を制御するフィルタを挿入する瞳フィルタ法は専用の露光装置の開発が必要であり、まだ実用化のめどがたっていない。そこで、ここでは説明を省略する。

【0018】また、以上の超解像手法とは別に、感光性樹脂のパターンの2次元形状を改善する光近接効果補正が現在注目されている。これは、超解像手法により光リソグラフィの限界は延びるものの、この限界近くでは近接効果によるパターン形状の変形により、半導体素子の性能が低下する問題が発生してきたためである。ここで、近接効果とは、転写される感光性樹脂パターンの形状が、そのパターンの周辺にある他のパターンの影響を受け変形する現象である。また、その要因は異なるが電子線露光においても同様に近接効果と呼ばれる現象があるので、これと区別して光近接効果と呼ばれることもある。光リソグラフィにおいて、この近接効果を補正する手段としては、解像力を向上させる高NA化が有効であるが、これは先に述べたように焦点深度の点で問題がある。そこで、目的のパターンが得られるように、マスクパターンを修正する手法が提案されている。これが、光近接効果補正(オプティカル・プロキシミティ・コレクション:Optical Proximity Correction)である。また、そのためのマスクはOPCマスクと呼ばれている。

【0019】次に、このOPCマスクについて図面を用いて説明する。一般に、光近接効果として、(1)ラインアンドスペースパターンと孤立パターンの寸法差、(2)ラインパターンの長辺方向の縮み、(3)パターンコーナー部の丸まり等に分類される。そして、具体的なOPCマスクの事例としてよく報告されるのは(1)ロジック系半導体素子およびSRAMのゲートパターンの長辺方向の縮みと、(2)DRAM容量パターンの長辺方向の縮みおよび丸まりである。ここでは、(2)D

RAM容量パターンの変形を例にとって説明する。まず、図14(a)にその容量パターンを示す。このパターンは同図に示すように長方形のパターンがx-y方向に一定のピッチで配列されたものである。図14(b)には、このパターンを通常の写真マスクにより転写した場合の得られるフォトリソのパターンを示す。同図に示すように、コーナ部の丸まりおよび長辺方向の縮みが生じ、半導体素子は設計通りの性能を得られなくなる。

【0020】このパターンの近接効果を補正するためにマスクパターンを意図的に変形させる。図15に通常の写真マスクとOPCマスクの1つのパターン部分を比較して示す。同図(a)は通常の写真マスクのマスクパターンの平面図であり、同図(b), (c), (d) および(e)が各種OPCマスクの平面図である。同(b)はマスクバイアスと呼ばれる単にマスク寸法のみを変える補正であり、(c)はハンマーヘッドと呼ばれる部分的なマスクバイアスを付加する補正、(d)はシェリフと呼ばれる微細な突起を付加する補正、(e)は補助パターンと呼ばれる微細パターンを周辺に配置する補正である。これら、(b)~(e)のOPCマスクでは、近接効果を打ち消し、設計に近い感光性樹脂パターンを形成することができる。

【0021】次に、このOPCマスクのマスク設計方法について説明する。これには、大きく分けて2つの手法が提案されている。すなわち、たとえば上記(b)~(e)に示したようなOPCマスクの各種方式の内、どの方式を使用するかは最終的には個人の判断となるが、その方式を選択した場合の補正量は主に次のような手法で求められている。まず、第1の方法はシュミレーションを用いる設計方法である。この方法は、各種OPCマスクの方式に合わせマスクパターンを徐々に補正したときに得られる感光性樹脂の形状をシュミレーションし、この2次元光強度分布より簡易的に現像後の感光性樹脂パターンの形状を求め、最も設計パターンに近くなる補正量を求めるものである。

【0022】現在、感光性樹脂の現像工程まで含めた3次元形状シュミレーションを行えば、正確に感光性樹脂パターンを予測できるが、この3次元現像シュミレーションには膨大な時間がかかり、OPCマスクのようにマスクパターンを徐々に変えて計算を繰り返すことが実用的ではないため、2次元光強度分布の計算結果より、いかに正確な感光性樹脂パターンを予測するかが課題となっている。まず、最も簡便な方法として、2次元光強度分布において、あるスライスレベル以上の光強度の部分が完全に現像され、それ以下の部分がパターンとして残ると仮定する手法(エクスポージャー スレッショルド

モデル: Exposure Threshold model)がある。この手法は、簡単であるがg/i線のノボラック系感光性樹脂では、精度良く感光性樹脂の

形状が予測できることが知られている。また、簡便な現像モデルを用いる方法もいくつか提案されている。例えば、ランプドモデル(lamped model)と呼ばれるまず最も光強度の高い部分で現像が垂直に進み、続いて水平に現像が進むとするモデルがある。

【0023】また、第2のOPCマスク設計方法として、データベースを用いる手法がある。これは、あらかじめ必要と思われるケースにつき、その補正量を実験により求めておき、実際にOPCマスクの補正をかけたいパターンを、このデータベース上の最も近いケースに当てはめて補正するものである。

【0024】

【発明が解決しようとする課題】以上説明したように、従来の超解像手法のみでは、微細パターンを形成することは可能となっても、フォトリソパターンの変形が生じ、半導体素子の性能が低下するという問題が生じていた。その一例を図面を用いて説明する。図16はDRAM容量パターンの通常マスクおよびハーフトーン方式位相シフトマスクのシュミレーション結果である。ここで、露光条件は、露光波長 $\lambda=365\text{ nm}$, $\text{NA}=0.6$, 輪帯照明($\sigma=0.6$ の50%遮光)とした。また、ハーフトーンマスクの半透明膜の透過率Tは8%とした。そして、得られた2光強度分布より、短辺方向の寸法が設計寸法(図中の点線)となる光強度をスライスレベルとして形状を求めている。同図に示すように焦点位置の変化によるパターンの変形はハーフトーンの方が小さく、焦点深度の点では位相シフトマスクの効果が得られている。しかし、ハーフトーンマスクにおいても長辺方向の縮みが生じ、目的の感光性樹脂パターンを得ることはできない。

【0025】また、他の方式を用いても、OPCほどの形状の補正ができず、また特にハーフトーン以外の位相シフトマスクには、マスク作製および検査が困難であるという問題がある。例えば、補助パターンをi線露光装置($\text{NA}=0.6$, コヒーレントファクター $\sigma=0.5$, 縮小倍率=5倍)において用いる場合、マスク上で $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 程度のパターンが必要となる。これは、現状のマスク描画装置で安定してパターン形成できる限界以下である。通常マスクパターン描画には電子線描画装置が用いられ、その限界解像度は $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 程度であるが、この電子描画装置においては、パターン寸法により適正露光量が大きく異なる。そのため、メインのパターンに露光量を合わせると、補助パターンでは露光量が足りず寸法が大幅に細くなってしまう。補助パターンの寸法が細くなると、十分な焦点深度拡大効果が得られなくなる。また、補助パターンに露光量を合わせると、メインパターン部でオーバー露光となり、マスク寸法精度が悪化してしまっていた。

【0026】さらに、マスクパターンを何とかパターンニングしたとしても、次の検査工程で問題が生じていた。

すなわち、マスク検査装置において、この補助パターンがすべて疑似欠陥として検出されてしまっていた。そのため、実際には検査装置の検出感度を下げ、補助パターン部分で欠陥が検出されないようにして検査するしかなく、マスクの信頼性が極端に低下されてしまっていた。これは、リム方式においても同様であり、さらにリム方式はシフトの側壁が透明領域に位置するため、このシフトの側壁のエッチング角度も感光性樹脂の形状に影響を及ぼす。しかし、このシフトのエッチング形状を検査することが困難であった。

【0027】そのため、OPCマスクが必要となるが、従来のOPCマスクには以下のような問題があった。特に、シェリフあるいは補助パターンのような積極的なOPCは、その補正効果は高いもののマスク作製および検査の問題の実用化が困難とされている。まず、これらの複雑な微細パターンを付加するOPCマスクにおいては、マスクパターン設計の段階でデータ量が大きくなる。また、これら付加パターンは半導体素子の設計より微細なグリッドサイズ(CAD上の最小刻み)で設計され、そのためマスク描画において描画時間の増加が問題となっていた。マスク描画には通常電子線描画装置が用いられるが、この描画の際の電子ビームの径は、アドレスサイズ(描画データの最小刻み、通常の5倍マスクでは設計グリッドの5倍)により決定される。すなわち、このように微細なアドレスサイズの付加パターンを含んだマスクを描画するためには、電子ビーム径を通常の1/2にしなければならず、描画時間は4倍になっていた。つまり、ビーム径が1/2となると従来1回で露光していた面積を露光するのに4回露光しなければならない。また、これら付加パターンは、解像度の点でも電子線描画の限界に近い寸法であるため、設計データ通りに形成することができていなかった。

【0028】一般に、先の例で示した突起状のシェリフや微細ラインの補助パターンでは、その寸法は細る傾向がある。そのため、設計データ通りにマスクが作製できれば効果が得られるOPCマスクも、その効果が十分得られていなかった。また、描画装置のバッティングエラー(フィールドつなぎのずれ)もOPCマスクではさらに大きな問題となっていた。電子線描画装置はその電子ビームを電磁偏向で振ってパターンを描画しているが、その振幅は数mmであり、その電磁偏向のみで描画できる範囲をフィールドと呼んでいる。そして、マスク全体を描画するためには、このフィールド内を描画した後、マスクステージを移動させ次のフィールドの描画を続ける。この際に隣接するフィールド間でパターンの位置ずれが生じる。このフィールド間のずれを、特にマスク描画ではバッティングエラーと呼んでいる。例えば、連続したラインパターンでもフィールドつなぎの部分でずれが発生する、あるいは線幅が異常となるといった問題があった。そして、特にこのOPCマスクにお

ては、この微細な付加パターンがフィールドのつなぎ部分に位置すると、パターン形状の変形がさらに顕著になってしまっていた。

【0029】また、このように付加パターンの寸法精度が低いため、検査工程ではこの付加パターンが欠陥として検出されてしまっていた。DRAMのように繰り返しパターンが多い半導体素子のマスクにおいては、マスク上の2点を比較する、いわゆるダイツウダイ方式での検査がある程度可能なため、付加パターンが変形していても検査可能である。しかし、ロジック系の素子ではマスクと設計データを比較する、いわゆるダイツウデータベース方式の検査しかできないため、付加パターンの変形はすべて欠陥として検出され、またその数が極端に多いため、一般の修正すべき欠陥と区別することが困難となるという問題があった。

【0030】このように、従来のOPCマスクは半導体素子のパターンよりさらに微細な付加パターンを必要とし、マスク作製および検査が困難であった。また、これら従来のOPCマスクはマスク作製精度を考慮していなかったため、設計どりのパターンが作製できれば大きな効果が得られたが、現状のマスク作製精度ではマスクパターン自体が設計どりに形成されないため、結果として目的の感光性樹脂パターンを得ることができなかった。

【0031】本発明の目的は、マスク作製が容易な、位相シフトマスクの効果を部分的に用いる新たなOPC手法を用いることにより、目的とするフォトレジストのマスクパターンを得ることを可能にしたフォトマスクとこのフォトマスクの製造方法を提供することにある。

【0032】

【課題を解決するための手段】本発明のフォトマスクは、透明基板上に所要のパターン形状に形成される遮光膜の一部が半透明膜で形成され、かつこの半透明膜は、半透明膜を透過する光としない光に180度の位相差を生じさせるように構成されたことを特徴とする。特に、遮光膜の凸状に形成された先端部が半透明膜で形成されることが好ましい。また、このフォトマスクを構成する場合には、透明基板上に所要のパターンに半透明膜が形成され、この半透明膜の凸状の先端部を除く領域に遮光膜が積層形成される構成とする。

【0033】また、本発明のフォトマスクの製造方法は、形成しようとするフォトマスクの遮光膜パターンを微小範囲に分割してその中点を選択する工程と、2次元光強度分布を用いて選択された中点のうち最も光強度が低くなる点とその光強度値を求める工程と、この求められた光強度を用いて前記2次元光強度分布をスライスしてそのスライス形状を求める工程と、求められたスライス形状と前記形成しようとするフォトマスクのパターンとを比較して一定の値以上に寸法が小さい辺部を求める工程と、この辺においてその端部から一定範囲を前記遮

光膜に代えて半透明膜として構成する工程とを含んでいる。

【0034】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施形態を図面を参照して説明する。なお、ここでは露光装置として、縮小率1/5（マスクパターン寸法：結像面上パターン寸法=5:1）、(NA=0.6、輪帯照明（最大 σ =0.6/半径比50%遮光）、i線（波長 λ =365nm）の縮小投影露光装置を用いるものとしている。また、対象とするパターンは、先に示したDRAM容量パターンである。図1に本発明のフォトマスクを示す。なお、以下においてパターン形状の寸法（膜厚等は除く）はすべて半導体基板上での寸法で示すものとする。すなわち実際のマスク上ではその5倍となっている。同図（a）は平面図、同図（b）は同図（a）のAA線の縦断面図である。まず、マスク構造は、同図に示すように石英の透明基板1上に半透明膜3が成膜され、さらに半透明膜の上には50nm膜厚のクロムの遮光膜2が形成されている。ここで、半透明膜3の光学定数（ n , k ）および膜厚は所定の値に制御され、その透過率は8%、また位相差は180度となっている。そして、マスクパターンは従来のパターンであるが、同図（a）に示すように、長辺方向の先端0.2 μ mが半透明膜3により半透明部（ハーフトーン部）とされている。

【0035】したがって、このフォトマスクを用いて露光を行うことにより、詳細が後述されるように、長辺方向の先端の半透明部3を透過した光は、この部分を透過しない光と位相が180度相違されることになり、両光が干渉して互いに打ち消しあうことで、半透明部3の境界部にコントラストの高い暗部が形成され、遮光膜3の境界部とあいまってフォトマスクの輪郭に沿って光強度の急峻な部分が形成されることになる。したがって、このフォトマスクを用いることで、遮光膜2と半透明膜3とを含めたフォトマスクのパターンが好適に転写されることになる。

【0036】次に、本フォトマスクの効果について説明する。図は2次元光強度分布のシュミレーション結果である。同図（a）が図1に示した本発明のフォトマスク、同図（b）が従来のフォトマスクをそれぞれ用いてパターン転写を行ったシュミレーション結果であり、いずれも短辺方向の寸法が目標寸法となる光強度の値で等高線表示した結果である。また、焦点位置Fは0.0~1.0 μ mの範囲で、0.2 μ m刻みで結果を示した。同図（b）に示す従来フォトマスクの場合、ベストフォーカス位置（F=0.0 μ m）で、長辺方向の寸法が短くなり、また焦点位置がずれるとその縮みが非常に顕著になってしまう。一方、同図（a）に示す本発明のフォトマスクにおいては、ベストフォーカス位置で、長辺方向の寸法が目標寸法となっており、また焦点位置が変化した場合の形状変化も非常に小さくなっている。

【0037】次に、このフォトマスクの形成方法、すなわちフォトマスクの設計方法について説明する。まず、対象とするパターンの各辺を微小範囲に分割し、その中点を選択する。ここでは、パターンが比較的短いので、図3（a）に示すように、その長辺も分割せず、A~Dの4つの位置について計算する。そして、まず2次元光強度分布を行い、最も光強度の低くなる点およびその値を求める。ここでは、最も光強度が低い点はB、Dとなり、その光強度は0.3である。よって、この点で目標寸法となるように露光量を合わせたときのフォトレジストのパターン形状として、2次元光強度分布を光強度0.3でスライスしたときの形状が求められる（図2（a）の焦点位置F=0 μ m）。

【0038】次に、図2（a）に示したように、予測されるフォトレジストのパターンが、ある一定の値以上に寸法が小さくなる辺において、その端から一定範囲をハーフトーン部に変更する。一般に、DRAMにおける寸法精度は目標寸法の $\pm 10\%$ が必要とされているので、この光近接効果による寸法誤差はその1/4の $\pm 2.5\%$ を許容範囲とし、これ以上寸法が小さくなる部分をハーフトーンに変更するものとする。なお、図3（b）に示すように、長辺を3分割し、各辺A~Hでハーフトーン部分の寸法を選択した方がより正確な補正が可能であるが、このパターンでは、このように長辺先端部だけ変更で十分な効果が得られた。

【0039】次に、図3（c）のように、長辺先端部に配置するハーフトーン部の透過率を選択する必要がある。現在、コンタクトホール開口用のハーフトーン位相シフトマスクにおいて、透過率8%が一般的であり、品質のよいマスクブランクが入手できるので、まずは透過率は8%とする。もし、この透過率で不具合が生じた場合は、透過率を変更する。そして、この寸法の小さくなる部分を徐々にハーフトーン部に変更していき、目標の形状となるようにする。ここで、ハーフトーン部の寸法の刻みは、設計のグリッドサイズおよび電子線露光装置の重ね合わせ精度により設定される。ここで、電子線露光装置の重ね合わせ精度が関係するのは、後述するフォトマスク製造方法において、重ね合わせ露光を行い、ハーフトーン部を形成するためであり、重ね合わせ精度より細かく最適化しても意味がないためである。

【0040】例えば、重ね合わせ精度が0.02 μ m（マスク上は0.1 μ m）であれば、ハーフトーン部の寸法はその2倍の0.04 μ m以上の刻みで最適化することになる。また、マスク設計のCAD上のグリッドサイズが0.025 μ mとすると、ここではハーフトーン部の寸法増加は、0.04 μ m以上でこのグリッドにのる0.05 μ mとし、各ハーフトーン部の寸法で得られる形状をシュミレーションする。図4に短辺寸法が目標寸法となる（位置B、Dで目標の形状となる）ときの、長辺方向の寸法をハーフトーン部寸法Wの関数として示

す。この実施形態の条件では、ハーフトーン部の寸法Wを $0.15\mu\text{m}$ とすることにより、長辺寸法も目標寸法となり、良好なフォトレジストパターンが得られる。また、この寸法を $0.15\mu\text{m}$ 以上としても長辺寸法の変動は少なく、よってはじめに設定した透過率8%が妥当であったことが判る。

【0041】ここで、ハーフトーン部の寸法をいくら大きくしても目標寸法にならない場合は、透過率の設定が低すぎることになる。反対にハーフトーン部の寸法が小さくとも目標寸法となってしまう、ハーフトーン部の寸法により得られる感光性樹脂の寸法が大きく変動する場合は透過率が高すぎる事となる。一般の露光条件では透過率4~10%程度が妥当であった。また、図5には長辺寸法のフォーカス特性（フォーカス位置と寸法の関係）を示す。同図には、ハーフトーン寸法が0（従来マスク）および $0.3\mu\text{m}$ の場合を示す。同図に示すように、ハーフトーン部の寸法を $0.3\mu\text{m}$ とすることにより、フラットなフォーカス特性が得られた。よって、ハーフトーン部寸法Wは $0.3\mu\text{m}$ とし、重ね合わせ精度分（ $0.02\mu\text{m}$ ）以上のマージン（ $0.05\mu\text{m}$ ）を持たせた、図3（d）に示す斜線領域をハーフトーン部製造用のパターンとした。

【0042】次に、本フォトマスクの製造方法について図面を用いて説明する。図6にその作製工程の縦断面図を示す。まず、同図（a）に示すように、石英の透明基板1の上に、酸化窒化クロム（CrON、膜厚 120nm ）の半透明膜（透過率8%、位相差 180° ）3を成膜し、さらにその上に酸化ルテニウム（RuO₃、膜厚 50nm ）の遮光膜（透過率0.02%）2を成膜する。ここで、CrONの屈折率は2.3であったので、その膜厚 t は $t = \lambda / 2(n - 1)$ の式より、 $t = 365 / 2(2.3 - 1) = 130\text{nm}$ と設定されている。よって、半透明膜3を透過する光と透過しない光には 180° の位相差が生じる。また、このときの透過率は8%となっている。

【0043】次に、同図（b）に示すように、全面にフォトレジストを塗布し、電子線描画により、マスクパターンの描画を行う。次に、同図（c）に示すように、現像により所定のフォトレジストパターン5を形成した後、酸素を含むガスを用いたドライエッチングにより遮光膜2をエッチングし、つづいて塩素を含むガスを用いたドライエッチングにより半透明膜3をエッチングする。次に、同図（d）に示すように、一旦前記フォトレジスト5を剥離して除去した後、再び別のフォトレジスト6を塗布し、前記と同様の電子線描画をより先に求めたハーフトーンの描画を行う。

【0044】次に、同図（e）に示すように、再び現像を行い、所定のフォトレジストパターン6を形成した後、再び酸素を含むガスを用いたドライエッチングにより遮光膜2をエッチングする。そして、同図（f）に示

すように、フォトレジスト6を剥離し、洗浄を行い本発明のフォトマスクが製造できる。

【0045】このフォトマスクでは、その製造において電子線描画およびエッチング工程が2回必要になるが、それでも従来のOPCマスクに比べるとマスク描画のアドレスを小さくする必要がないので製造時間は短くなる。また、検査においても、従来の位相シフト対応検査装置により可能であり、従来OPCのような問題は生じない。例えば、KLA社のマスク検査装置331PSMではハーフトーン部の透過率が40%程度まで検査可能となっている。

【0046】次に、第2の実施形態としても一つの別のマスクの補正方法について図面を用いて説明する。なおここでも、先の実施例と同様の露光条件とする。ただし、半導体素子としては、SRAMのゲートパターンについて補正を行うものとする。図7に示すSRAMのセルにおいてよく問題になるトランジスタの長辺寸法の縮みを補正する。そのために、まず遮光膜2の先端部をハーフトーン部3に変更し、かつその透過率および寸法をふり、各適正値を求めておく。ここでも、透過率は8%、寸法は $0.2\mu\text{m}$ が適正値であった。

【0047】そこで、「線幅が $0.35\mu\text{m}$ 以下のラインパターンは、先端 $0.2\mu\text{m}$ をハーフトーンとする」という条件に基づきマスクパターンを補正する。その結果は図7に示したとうりである。そして、この際のハーフトーン部3の形成のための重ね合わせ描画データは、先の例と同様に重ね合わせマージンを考慮し、同図に示すようにパターン外部に $0.05\mu\text{m}$ 太らせる。

【0048】なお、この第2の実施形態においては、あらかじめ実験的にハーフトーン部3の最適値を決定しているため、半導体基板段差部からの反射および段差による感光性樹脂の膜厚変化による影響も考慮してマスクパターンの補正ができる。

【0049】

【発明の効果】以上説明したように本発明のフォトマスクは、透明基板上に形成された所要のパターン形状の遮光膜の一部が半透明膜で形成され、かつこの半透明膜は、半透明膜を透過する光としない光に 180° の位相差を生じさせるように構成されているので、半透明膜を透過した光としない光とが互いに干渉して打ち消しあい、半透明膜の端部における光強度を急峻なものにでき、目的のパターン形状を転写することが可能となる。このため、従来のOPCのように複雑なパターン形状を用いる必要はなく、マスク製造および検査を容易に行うことができ、しかも、焦点位置の変動による寸法変化も従来のフォトマスクより小さくでき、寸法精度向上および焦点深度拡大の効果を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態のフォトマスクを平面図とそのAA線断面図である。

【図2】本発明と従来の各フォトマスクの2次元光強度分布シミュレーション結果のパターン図である。

【図3】本発明のフォトマスクの設計方法を説明するための図である。

【図4】本発明のフォトマスクの設計方法の補正量とフォトレジストパターン寸法の関係を示す図である。

【図5】本発明のフォトマスクのフォーカス特性を示す図である。

【図6】本発明のフォトマスクの製造方法を工程順に示す断面図である。

【図7】本発明の第2実施形態におけるフォトマスクの一例のパターン図である。

【図8】従来の超解像手法の1つである変形照明法の通常照明の説明図である。

【図9】従来の超解像手法の1つである変形照明法の輪帯照明の説明図である。

【図10】従来の通常フォトマスクとその光強度分布の説明図である。

【図11】従来の超解像手法の1つである補助パターン方式位相シフトマスクの説明図である。

【図12】従来の超解像手法の1つであるリム方式位相シフトマスクの説明図である。

【図13】従来の超解像手法の1つであるハーフトーン方式位相シフトマスクの説明図である。

【図14】DRAM容量のマスクパターンと転写されたフォトレジストパターンを示す図である。

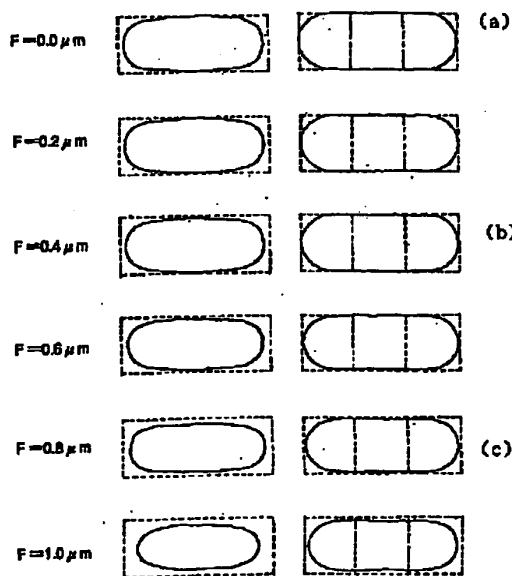
【図15】従来の各種OPCマスクの平面図である。

【図16】従来のフォトマスクにおける転写像(2次元光強度分布)の変形を示すシミュレーション図である。

10 【符号の説明】

- 1 透明基板
- 2 遮光膜
- 3 半透明膜 (ハーフトーン部)
- 4 透明膜
- 5, 6 フォトレジスト
- 101A, 101B 絞り
- 102 フライアイレンズ
- 103 フォトマスク
- 104 投影レンズ
- 20 105 半導体基板

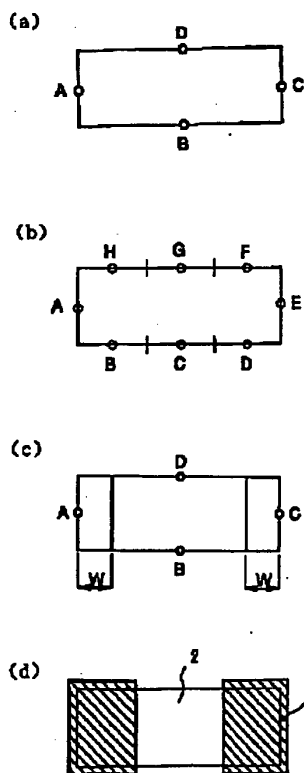
【図2】



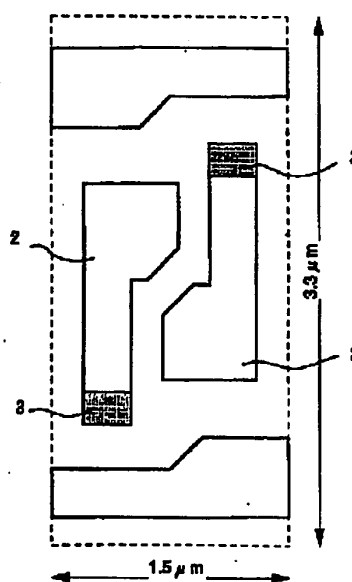
(b) 従来マスク

(a) 本発明

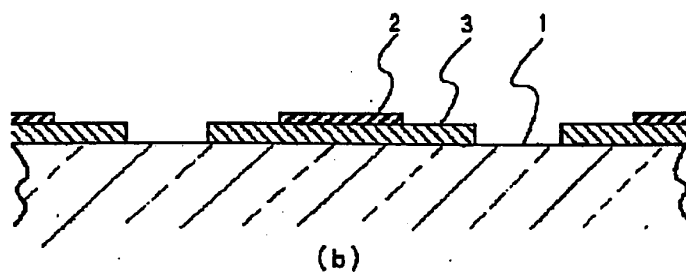
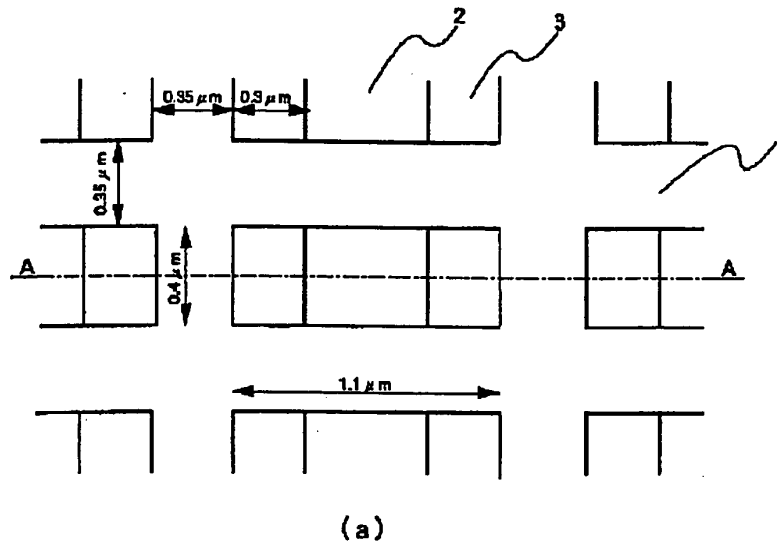
【図3】



【図7】

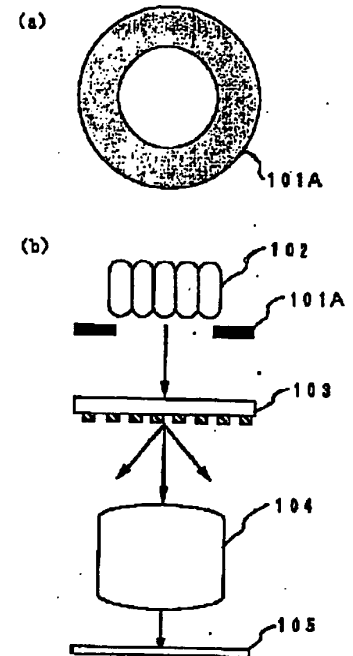


【図1】



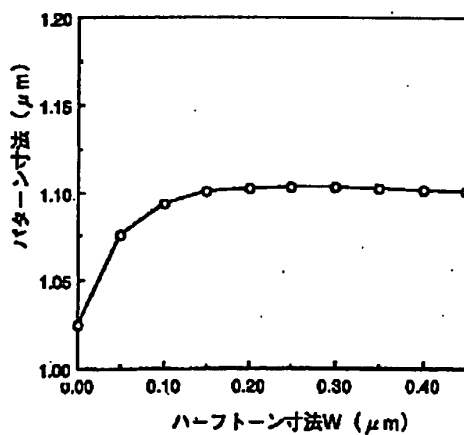
1 : 透明基板
2 : 遮光膜
3 : 半透明膜

【図8】

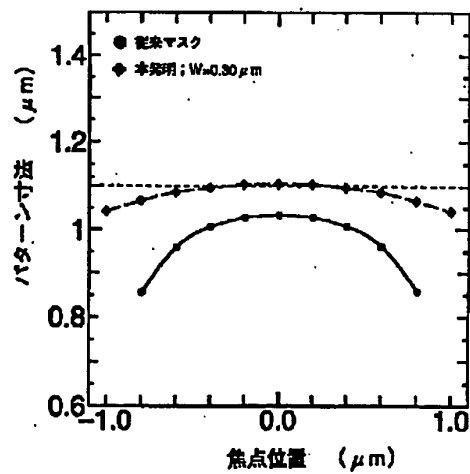


101A : 絞リ
102 : フライアイレンズ
103 : フォトマスク
104 : 投影レンズ
105 : 半導体基板

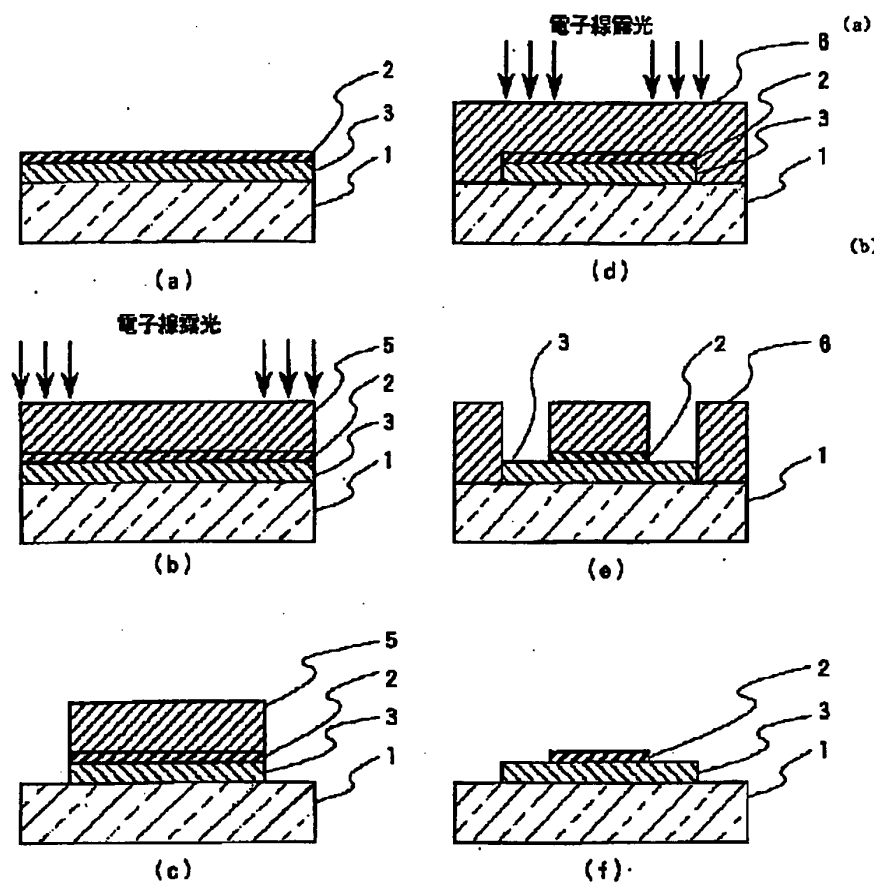
【図4】



【図5】

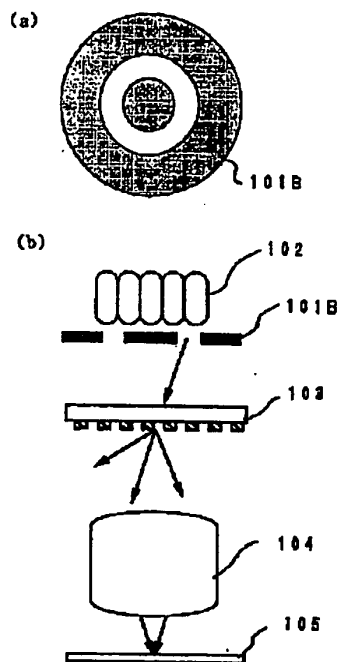


【図6】



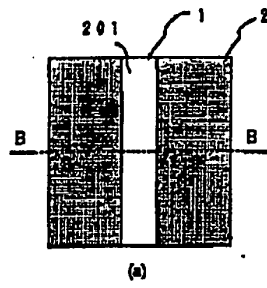
- 1 : 透明基板
 2 : 遮光膜
 3 : 半透明膜
 5 : フォトレジスト
 8 : フォトレジスト

【図9】

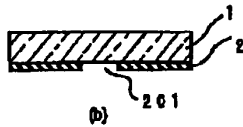


- 101B : 絞り
 102 : フライアイレンズ
 103 : フォトマスク
 104 : 投影レンズ
 105 : 半導体基板

【図10】



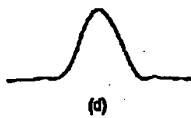
(a)



(b)



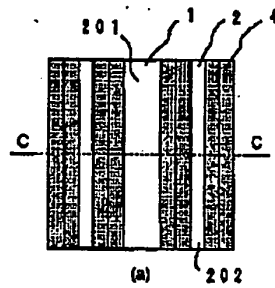
(c)



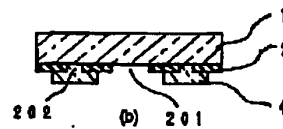
(d)

1: 透明基板
2: 遮光膜

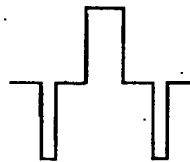
【図11】



(a)



(b)



(c)



(d)

1: 透明基板
2: 遮光膜
4: 透明膜

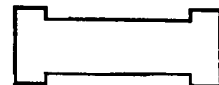
【図15】



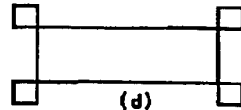
(a)



(b)



(c)



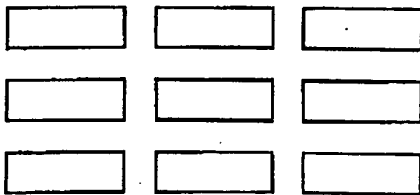
(d)



(e)

【図14】

(a)



(b)



【図16】

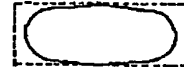
F=0.0 μm



F=0.2 μm



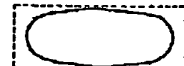
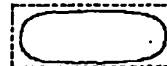
F=0.4 μm



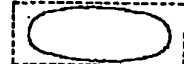
F=0.6 μm



F=0.8 μm



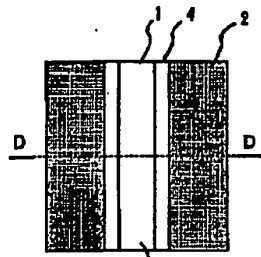
F=1.0 μm



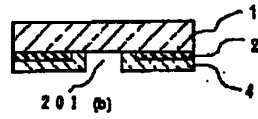
(a) 従来のマスク

(b) ハーフトーンマスク

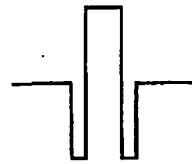
【図 1 2】



(a) 201



(b)



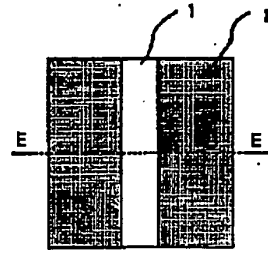
(c)



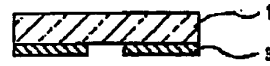
(d)

1 : 透明基板
2 : 透光膜
4 : 透明膜

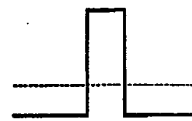
【図 1 3】



(a)



(b)



(c)



(d)

1 : 透明基板
3 : 半透明膜